

Оценка электромагнитной совместимости централизованного энергоснабжения пассажирских поездов и устройств СЦБ

Д-р. техн. наук А. П. Разгонов, канд. техн. наук В. Т. Вислогузов (ДИИТ)

В статті наведена оцінка електромагнітної сумісності централізованого електропостачання пасажирських поїздів (ЦЕП) і рейкових кіл систем залізничної автоматики; визначені допустимі рівні діючих значень гармонік зворотного струму ЦЕП; наведений аналіз спектру гармонік при різних режимах роботи вагонного перетворювача напруги; надані аналітичні розрахунки потенціалів і струмів у рейках, які утворюються системою ЦЕП; зроблені висновки за проблемою.

The authors of the article estimate the electromagnetic compatibility of passenger trains electrosupply and railway system circuits; determines possible levels of harmonics alternative current; analyzes a variety of harmonics in different regimes of carriage voltage converter; calculate potentials and currents in rails, created by the system; make conclusions on the problem.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОМЕХ

Распространение централизованного энергоснабжения поездов (ЦЭС) потребовало проведения оценки уровней и длительностей возмущений гармонических составляющих обратного тока ЦЭС на устройства СЦБ и АЛСН. Источником помех в системе ЦЭС является полупроводниковый преобразователь напряжения (ПН), работающий от постоянного или переменного тока напряжением 3000 В. При питании постоянным напряжением преобразователь работает в режиме преобразователя постоянного тока в переменный стандартной частоты 50 Гц, при этом главными его узлами является однофазный мостовой инвертор и трансформатор. Если питание осуществляется переменным током 50 Гц, тогда ПН преобразует его в переменный ток других параметров, причем в этом процессе используется промежуточный контур постоянного тока и автономный инвертор.

Заметим, что в Украине пока отсутствует отраслевая нормативная база в области элек-

тромагнитной совместимости электроподвижного состава (ЭПС) и системы ЦЭС с устройствами СЦБ и АЛСН. Поэтому приводимые ниже допустимые уровни токов помех приняты из соображений обеспечения устойчивой работы рельсовых цепей и АЛСН, получены расчетным путем и подлежат более строгому обоснованию. Некоторые из допустимых параметров помех, в частности максимальная длительность превышения допустимого уровня возмущением 400 мс и частоты помех, согласованы с Главком Укрзалізничці.

Обратный ток системы ЦЭС в пределах длины поезда возвращается к локомотиву по рельсам. Координата и значение нагрузки по длине состава являются случайными величинами, а нахождение поезда на коротких рельсовых цепях в горловине станции создает условия для ответвления части тока и мешающего влияния через соседние РЦ.

Обратный ток ЦЭС может возвращаться через автосцепки и буфера вагонов. Вследствие различия сопротивления рельсов, подшпикников, переходных сопротивлений «бандаж-

рельс» может создаться разность потенциалов между рельсами, а при нарушении путей возврата тока — разность потенциалов между вагонами и шаговое напряжение вдоль полотна жд [1].

Сопротивление цепи возврата тока ЦЭС через элементы конструкции вагонов носит стохастический характер, поэтому нельзя гарантировать высокую надежность цепи без дополнительных мер (создание электрических соединений между вагонами, стабилизация переходных сопротивлений и т.д.). В связи с этим анализ электромагнитной совместимости источника тока ЦЭС и рельсовых цепей проведен без учета цепи возврата тока ЦЭС через вагонные конструкции.

Обратный ток ЦЭС может создать опасное и мешающее влияние на путевые приемники РЦ, которое может проявиться в следующем:

ложная информация «участок свободен» при фактической его занятости, что создает опасность для движения поездов;

ложная информация «участок занят» при фактической его свободности, что вызывает задержки поездов;

повреждения аппаратуры устройств СЦБ.

Влияния зависят от типа РЦ, ее длины и параметров, частоты сигнального тока, времени воздействия тока помехи, асимметрии рельсовой линии. В двухниточной РЦ при коэффициенте асимметрии токов в рельсах

$$K_a = \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2)} = 0 \text{ нет влияния помех на путе-}$$

вой приемник, в однопутной цепи $K_a = 100\%$ и влияния максимальные. Поэтому оценка влияния обратного тока ЦЭС осуществлена при 100 % асимметрии, когда возникает максимальная разность потенциалов в рельсовой линии. В двухниточной РЦ 100 % асимметрия возникает при обрыве рельса или дроссельной перемычки. Напряжения помех зависит от их частот, разности частот помех, частоты сигнального тока РЦ, частотной избирательности приемников. Следует учитывать не только частоты гармоник спектра тока ЦЭС, но и комбинационные частоты, создаваемые в

результате модуляции из-за повышенных пульсаций тока при работе преобразователя в разных режимах (пуск, холостой ход, нагрузка, некоторые неисправности источника, например пропуск сигналов управления тиристорами).

Оценка рабочих токов путевых приемников РЦ и локомотивной сигнализации и предельных уровней токов помех на сигнальных частотах систем автоблокировки, применяемых на дорогах Украины, приведены из соотношений

$$\frac{A_{np}}{A_{n(f_c)}} > Q, \quad Q = \frac{A_{np}}{A_{0(f_c)}},$$

где A_{np} — действующее значение тока срабатывания приемника (рассчитано по входу схемы релейного конца РЦ); $A_{n(f_c)}$ — то же допустимого тока помехи на рабочей частоте РЦ и АЛСН; $A_{0(f_c)}$ — то же тока сигнала для отключения приемника на рабочей частоте.

Предельные уровни токов помех определены при 100 % асимметрии рельсовой линии из условия, что они, по крайней мере, в $1/N$ раз меньше тока надежного несрабатывания путевого приемника РЦ и АЛСН. Значение аппаратного коэффициента $N = 1,4 (2,5)$ зависит от величины коэффициента надежного возврата приемника. Следует подчеркнуть, что, в отличие от влияния тягового обратного тока, обратный ток системы ЦЭС, практически не распространяющийся по рельсам за пределы длины поезда, воздействует на обесточенные путевые приемники занятой РЦ.

Анализу подвергнуты широко применяемые на дорогах Украины рельсовые цепи:

- 2-ниточная 50Гц с путевым реле ДСШ.12;
- 2-ниточная 50Гц с путевым реле ИМВШ.110;
- 2-ниточная 25Гц с путевым реле ДСШ.13А;
- 2-ниточная 475Гц с электронным приемником ПРЦ.

Результаты расчетов допустимых уровней помех, генерируемых системой ЦЭС на частотах автоблокировки и АЛСН, приведены в табл. 1.

Допустимые уровни токов помех на частотах автоблокировки и АЛСН

Частота сигнала, Гц	Граничные частоты полосы пропускания фильтра, Гц	Ток срабатывания приемника, А	Допустимый уровень помехи от тока ЦЭС, А	Характер влияния помехи на РЦ и АЛСН
25	20...23	0,8(1,3)	4	Мешающее
	22...27		0,4(0,8)	Опасное
	27...30		4	Мешающее
	44...48		4	Мешающее
50	48...52	2,3(1,8)	0,9(1,1)	Опасное
	52...58		4	Мешающее
	167...184		0,2	Мешающее
175	408...432	0,25	0,2	Мешающее
	468...492			
	568...592			
420...780	708...732	0,15	0,1	Мешающее
	768...792			
	4963...5038			
5000		0,1	0,08	Мешающее

Примечание. В скобках даны значения токов для импульсных приемников; на граничных частотах обеспечивается затухание токов более чем на порядок.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ТОКОВ ПН

Анализ спектрального состава проводился с помощью ПЭВМ путем разложения в ряд Фурье аналогового сигнала – тока или напряжения. Анализ проведен в режимах работы ПН, существенно различающихся между собой: пуск, холостой ход, номинальная нагрузка. Повреждения ПН (отказы в схеме управления вентилями, их пробои и др.) не моделировались.

Для измерения параметров РЦ и оценки спектра гармоник обратного тока системы ЦЭС использовались цифровые вольтметры типа ВТ-16А кл.1, магазин сопротивлений МСР-63 кл.0,01, многоканальный магнитограф Н068, регистрирующий обрабатывающий комплекс на базе компьютера «Pentium-100», содержащий АЦП частотой квантования до 30кГц, запоминающие и согласующие устройства, и программное обеспечение.

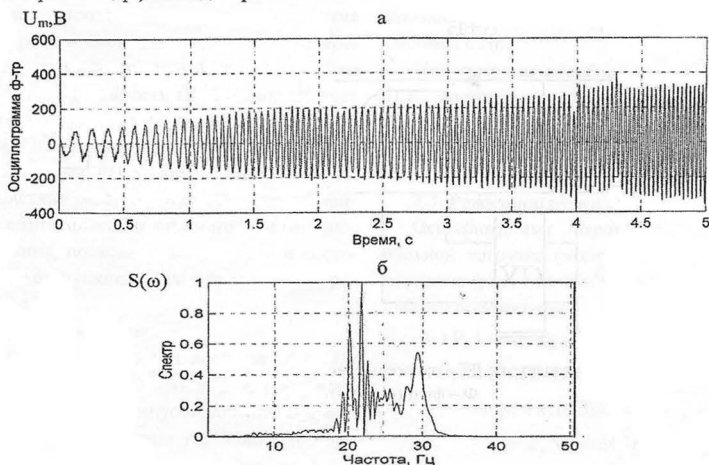


Рис. 1

2.1. Режим пуска

На рисунке 1,а представлена осциллограмма выходного тока напряжения ПН в режиме пуска. Видно, что:

- ток имеет сложную форму, модулируясь по частоте и амплитуде;
- частота возбуждения преобразователя в течение 8...10 с изменяется от 8 до 50 Гц. Уровень амплитуды выходного напряжения возрастает практически линейно во времени от 55 до 380 В;
- частота проходит диапазон 19...31 Гц (рис. 1,б), находящийся в полосе прозрачности приемного фильтра РЦ частотой 25 Гц. Установлено, что входной ток при пуске модулируется низкими субгармониками;
- время действия помехи t_n в упомянутом диапазоне частот 2...2,25 с, амплитуда напряжения на частоте 25 Гц достигает 170 В ($0,317 U_{ном}$).

Аналогичные процессы протекают в ПН при пуске и питании напряжением 3 кВ постоянно-го тока.

Проведем оценку уровня тока помехи на частоте 25 Гц по входному току ПН. Входной ток в установившемся режиме на конечной стадии пускового режима достигает 2,03 А, а на частоте 25 Гц $2,03 \cdot 0,317 = 0,644 А$. Если учесть опытный коэффициент модуляции действующего значения входного тока током субгармоники 25 Гц 0,15, тогда ток помехи $0,644 \cdot 0,15 = 0,1 А$. Длительность его воздействия на устройства СЦБ в диапазоне частот 23...27 Гц не превышает 1,5 с (см. рис.1).

Проведем оценку тока помехи в фазочувствительной РЦ 25 Гц (нормаль РЦ25-ЭТ50-С88, с. 8) при условиях:

- пуск ПН происходит одновременно в вагонах поезда, тогда суммарный ток помехи достигнет $0,1 \cdot 20 = 2 А$;
- в рельсовой линии полная асимметрия тока ($K_a = 100\%$).

Ток помехи в схеме релейного конца РЦ (рис. 2) достигнет $0,5 I_{ном} = 1 А$ и превысит ток срабатывания реле (см. табл.1).

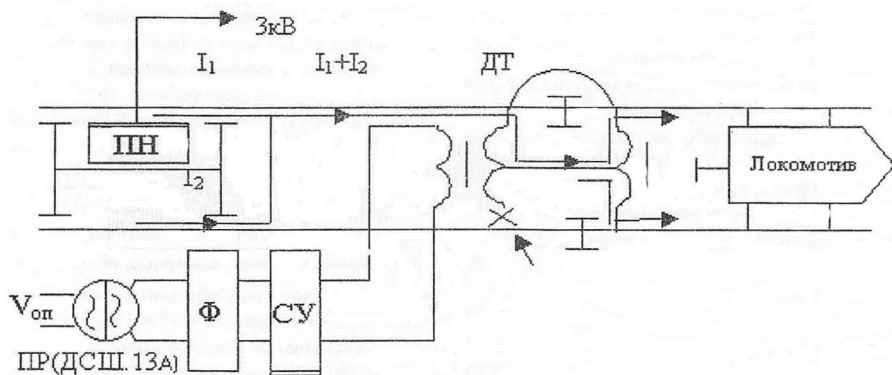


Рис. 2. ПН — преобразователь; ДТ — дроссель-трансформатор; СУ — согласующее устройство; Ф — фильтр; ПР — путевое реле

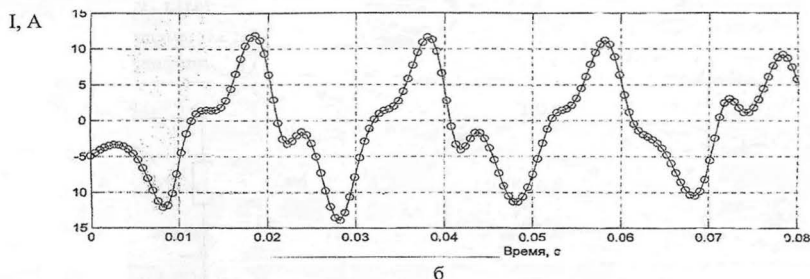
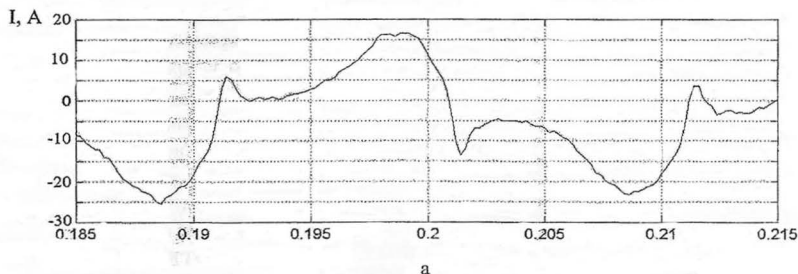


Рис. 3

Отсюда следует, что возможно кратковременное ложное срабатывание путевого реле РЦ. Вместе с тем вероятность опасной ситуации весьма мала, поскольку в момент срабатывания путевого реле в системах СЦБ действует временная задержка команды «РЦ свободна». Тем не менее, эту особенность ПН вагонов следует проверить на объектах СЦБ при эксплуатационных испытаниях поезда.

В перегонных РЦ кодовой автоблокировки 25 Гц действие рассмотренной помехи не приведет к возникновению опасного или мешающего влияния, поскольку дешифратор в системе выполняет функции элемента задержки времени до 6 с.

2.2. Режим холостого хода

Мощность на входе ПН достигает 6,1 кВт (питание током 50 Гц, 3 кВ), форма выходного напряжения близка к синусоидальной. В спектре преобладают нечетные гармоники (ω , 3ω , 5ω , ...), амплитуда второй гармоники не более 0,05 %. Входной ток содержит гармоники тока,

совпадающие с основными гармониками тягового переменного тока (50 Гц, 100 Гц, 150 Гц, 250 Гц, ...), которые не могут оказывать мешающего влияния на работу рельсовых цепей системы СЦБ.

При питании преобразователя ПН от сети ЦЭС постоянного тока в спектре входного тока гармоник, оказывающих влияние на работу РЦ при электротяге постоянного тока, не обнаружено.



2.3. Режим нагрузки ПН

Осциллограмма входного тока при номинальной нагрузке (мощность 41 кВт) сильно искажена (рис. 3,а). Ряд Фурье этого тока представлен выражением

$$I_{вх} = 19,1 \sin(\omega t + 28,5^\circ) + 0,91 \sin(2\omega t - 37,6^\circ) + 8,4 \sin(3\omega t + 45^\circ) + 2,58 \sin(5\omega t - 41,5^\circ) + 2,1 \sin(7\omega t - 35^\circ).$$

С уменьшением мощности нагрузки до 20,6 кВт форма тока приближается к синусоиде (рис. 3,б), пульсации тока существенно снижаются, что следует из разложения в ряд кривой тока

$$i_{ax} = 9,1 \sin(\omega t - 25^\circ) + 0,08 \sin(2\omega t - 42^\circ) + 3,01 \sin(3\omega t + 64^\circ) + 0,98 \sin(5\omega t + 38,5^\circ).$$

Из разложений следует, что спектр обратного тока не содержит гармоник, совпадающих с гармониками сигнального тока, и не создает, тем самым, мешающего влияния на работу устройств СЦБ. Анализ показал, что в спектре гармоник входного тока при питании ПН от источника постоянного напряжения 3 кВ содержатся,

кроме постоянной составляющей, гармоника частотой 100 Гц и кратные ей четные гармоники 4ω, 6ω, ... с уровнем, не превышающим 1...2 %.

Таким образом, в установившемся режиме ПН мешающего влияния на работу рельсовых цепей системы СЦБ оказывать не может.

Он не оказывает также влияния на работу поездной радиосвязи и ВЧ-каналов магистральной связи железных дорог.

3. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛОВ «РЕЛЬС-ЗЕМЛЯ» И МЕШАЮЩИХ ТОКОВ СИСТЕМЫ ЦЭС

Расчетная схема замещения цепи питания системы ЦЭС представлена на рис. 4.

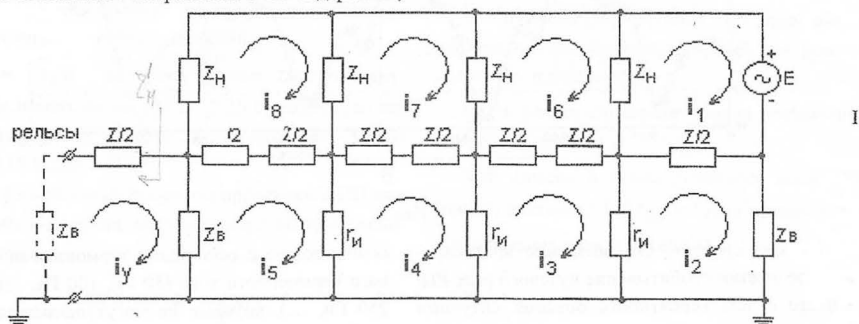


Рис. 4. Расчетная схема однородной цепи с сосредоточенными параметрами системы ЦЭС пассажирского вагона

На схеме приняты обозначения:

I – генератор тока ЦЭС; Z_n – сопротивление нагрузки пяти вагонов;

$$Z = \frac{1}{2}(\bar{Z}_{01} + j\omega M_{12}) = 0,395e^{j640} \text{ Ом}$$

сопротивления двух параллельно соединенных рельсов длиной 125 м;

M_{12} – коэффициент взаимной индукции рельсов, при частоте тока 50 Гц равен $0,00127e^{j4}$ Гн;

r_u – сопротивление утечки «рельсы-земля» (летом 0,25 Ом·км, зимой 12,5 Ом·км); $I_n = 75 \text{ А}$ – ток в сопротивлении Z_n пяти вагонов; $E = 3200$

В – напряжение питания ЦЭС; Z_B – волновое

сопротивление рельсовой линии; Z'_B – сопротивление последовательно включенных волнового сопротивления и отрезка линии 62,5 м.

Схема замещения представлена четырьмя Т-образными четырехполюсниками, включающими параметры рельсовой линии длиной 125 м, эквивалентной длине 5 вагонов.

Рельсовая линия при высокой проводимости утечки (летом) представляет собой однородную длинную линию и ее можно заменить однородной эквивалентной цепью с сосредоточенными параметрами ОЦС. При этом важно, чтобы линия «не заметила» ее замены на ОЦС, что возможно при условии отклонений напряжений по концам линии в пределах допустимых погрешностей [2].

Введем обобщающие продольные и поперечные параметры длинной линии и ОЦС:

$$\underline{z}_0 = z_0 e^{j\varphi_0} \text{ Ом/км}, Y_0 = r_u^{-1} \text{ Сим/км};$$

$$\underline{z} = \underline{z}_0 \frac{l}{N}, Y = Y_0 \frac{l}{N}, \quad (1)$$

где N — число звеньев ОЦС.

Примем

$$\underline{z}_0 = 0,261 e^{j64} \text{ Ом/км}; Y_0 = 4 \text{ Сим/км};$$

$$\underline{z} = 0,0326 e^{j64} \text{ Ом}; Y = 0,5 \text{ Сим}, N = 4.$$

Тогда волновое сопротивление линии

$$\underline{z}_c = \sqrt{\frac{\underline{z}_0}{Y_0}} = 0,2554 e^{j32} \text{ Ом, а цепи}$$

$$\underline{z}_y = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\underline{z}}{Y} (4 + \underline{z}Y)} = 0,2558 e^{j32} \text{ Ом}.$$

Коэффициент распространения линии

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{z}_0 Y_0} = 1,022 e^{j32} \text{ Нп/км},$$

для отрезка линии 0,5 км имеем

$$\underline{\gamma} l = \underline{z} l + j \beta l = 0,4332 + j0,271.$$

Число звеньев ОЦС, обеспечивающих приемлемые амплитудные и фазовые погрешности, найдем из уравнения (2)

$$M_9 = \frac{\underline{Z}_2^* (\text{ch} \alpha l \cdot \cos \beta l + j \text{sh} \alpha l \sin \beta l) + (\text{sh} \alpha l \cos \beta l + j \text{ch} \alpha l \sin \beta l)}{\underline{Z}_2^* (\text{ch} \alpha N \cdot \cos \beta N + j \text{sh} \alpha N \sin \beta N) + \underline{Z}_y^* (\text{sh} \alpha N \cos \beta N + j \text{ch} \alpha N \sin \beta N)}, \quad (5)$$

где $\underline{Z}_2^* = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_c}$; $\underline{Z}_y^* = \frac{\underline{Z}_y}{\underline{Z}_c}$; $\underline{Z}_2^* = 10,1$;

$$\underline{Z}_y^* = 0,99844.$$

Оказалось, что погрешность по модулю $m_v = 6,5 \cdot 10^{-3}$, или 0,65 %, по аргументу $\psi_v = -2,1^0$, или 12 %. Указанные погрешности можно считать допустимыми, что подтверждает целесообразность принятого преобразования схемы замещения (см. рис. 4).

Расчеты токов и напряжений в схеме замещения (см. рис.4) выполнены известным методом контурных токов. Система неоднородных

$$N \approx |\gamma l| \sqrt{2 [\text{ch}(\frac{\alpha l}{N}) - \cos(\frac{\beta l}{N})]} = f(N) \quad (2)$$

Уравнение (2) решения не имеет, ибо линии N и $f(N)$ не пересекаются, но с ростом N оказалось, что расхождение этих линий при $N = 4$ не превышает 0,22 %.

Найдем величины

$$A = \text{arch}[\sqrt{S^4 + 2S^2 \cos 2\sigma + 1 + S^2}] = 10,835 \cdot 10^{-2};$$

$$B = \arccos[\text{ch} A - 2S^2] \pm 2\pi = 7,67 \cdot 10^{-2}, \quad (3)$$

$$\text{где } S^2 = (|\gamma l|/2N)^2 = 4,078 \cdot 10^{-3}.$$

Величина A (3) вычислена с использованием логарифмического преобразования

$$A = \text{arch} x = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1}); x > 1.$$

При замене длинной линии эквивалентной ОЦС выполняются условия

$$A N \approx \alpha l; B N \approx \beta l; \underline{Z}_y \approx \underline{Z}_c. \quad (4)$$

Оказалось, что из первого условия значение $A = \alpha l / N = 10,83 \cdot 10^{-2}$ совпадает с погрешностью 0,57 % с полученным значением A_0 по формуле (3), второе условие выполняется с погрешностью 14,7 %.

Погрешность выходного напряжения в конце ОЦС определена по обобщенному коэффициенту искажения (5) напряжения:

линейных уравнений для восьми неизвестных токов

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} i_k = b_i (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

эквивалентна матричному уравнению $AI = B$, или

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix}, \quad (7)$$

в котором:

$$A = \begin{pmatrix} Z1 + Z2 & -Z2 & 0 & 0 & 0 & -Z1 & 0 & 0 \\ -Z2 & Z4 + Z2 + Z5 & -Z5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Z5 & Z3 + 2 \cdot Z5 & -Z5 & 0 & -Z3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -Z5 & 2Z5 + Z3 & -Z5 & 0 & -Z3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -Z5 & Z5 + Z6 + Z3 & 0 & 0 & -Z3 \\ -Z1 & 0 & -Z3 & 0 & 0 & 2Z1 + Z3 & -Z1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -Z3 & 0 & -Z1 & 2Z1 + Z3 & -Z1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -Z3 & 0 & -Z1 & 2Z1 + Z3 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 3200 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Уравнение (7) имеет решение

$$I = A^{-1} B,$$

где A^{-1} – обратная матрица. Расчетные токи (A) и их аргументы (град) равны

$$i1 = I_0 \quad |i1| = 297.555 \quad \text{Arg}(i1) = 24.797$$

$$i2 = I_1 \quad |i2| = 33.286 \quad \text{Arg}(i2) = 52.602$$

$$i3 = I_2 \quad |i3| = 35.063 \quad \text{Arg}(i3) = 54.336$$

$$i4 = I_3 \quad |i4| = 34.118 \quad \text{Arg}(i4) = 53.445$$

$$i5 = I_4 \quad |i5| = 31.48 \quad \text{Arg}(i5) = 50.817$$

$$i6 = I_5 \quad |i6| = 223.145 \quad \text{Arg}(i6) = 24.755$$

$$i7 = I_6 \quad |i7| = 148.75 \quad \text{Arg}(i7) = 24.728$$

$$i8 = I_7 \quad |i8| = 74.37 \quad \text{Arg}(i8) = 24.714$$

В матрице коэффициентов уравнения (7) приняты обозначения:

$$z1 = 43e^{-25}$$

$$z2 = 0.0163e^{64}$$

$$z3 = 0.0325e^{64}$$

$$z4 = 0.255e^{32}$$

$$z5 = 2$$

$$z6 = 0.242e^{29},$$

причем

$$Z1 = Z_n; \quad Z2 = Z/2; \quad Z3 = Z;$$

$$Z4 = Z_g; \quad Z5 = r_n; \quad Z6 = Z'_g.$$

Из анализа результатов решения (7) вытекает следующее:

- падение напряжения в рельсах, создаваемое обратным током ЦЭС по длине поезда, достигает летом 16...17 В;

- суммарный обратный ток по мере приближения от хвоста поезда к локомотиву возрастает практически по линейному закону и достигает максимальной величины при полной нагрузке ЦЭС (298 А, 950 кВт);

- максимальные значения потенциалов «рельсы-земля» не превышают 8...9 В.

Потенциалы «рельсы-земля» у хвоста поезда и у локомотива имеют противоположную фазу (полярность), причем точка нулевого потенциала располагается ближе к локомотиву на расстоянии $L_n(1-0,64) \approx 18$ Ом.

Токи утечки в землю за пределами длины поезда достигают летом 29...33 А, или 10 %

общего тока нагрузки ЦЭС, причем эти токи от хвоста поезда и от головы примерно равны между собой.

Зимой потенциалы «рельсы-земля» возрастают до 30 В, ток утечки в землю практически отсутствует.

Максимум (2,5 В) потенциал (питание постоянным током) между рельсами летом достигает в случае обрыва рельсовой нити или дроссельной перемычки. Росту потенциала способствует также асимметрия рельсовой линии, вызванная замыканием изолирующего стыка (см. пунктир на рис. 2). Между точками обрыва цепи потенциал может достигнуть 15...20 В, если электровоз и поезд находятся по разные стороны дроссельного стыка. Опасности такие потенциалы для рельсовых цепей не представляют. При сопротивлении рельсов постоянному току 0,01 Ом/км падение напряжения в рельсах вдоль поезда не превысит 0,65 В и им можно пренебречь.

В случае обрыва междудроссельной перемычки МП (см. рис. 2) сопротивление нагрузки у прошедшей изолирующие стыки части состава поезда равно: полного состава 9 Ом; половины 22,6 Ом, одного вагона – 225 Ом. В этом случае ток к источнику питания системы ЦЭС может возвращаться через сцепления вагонов или по земле через рельсовые цепи как естественные заземлители. Пренебрегая первой цепью, создающей ненадежное электрическое сопротивление, можно показать, что при указанных выше сопротивлениях нагрузки и сопротивлении «рельсы-земля» 0,25 Ом·км напряжение на стыках составит 100; 50 и 5 В соответственно; зимой при максимальном сопротивлении «рельсы-земля» 15 Ом·км – 700, 350 и 50 В. При электротяге переменного тока максимальный уровень потенциалов на стыках может достигать 1000 В. Столь высокие потенциалы создают опасность для людей, поскольку под такими потенциалами оказываются и вагоны.

ВЫВОДЫ

Установлено, что в установившемся режиме работы преобразователи напряжения вагонов

ЦЭС не создают мешающего влияния на работу электрических рельсовых цепей систем СЦБ.

При питании преобразователей напряжения переменным током 3000 В в спектре тока системы ЦЭС преобладают нечетные гармоники. Частоты этих гармоник не совпадают с частотами сигнального тока РЦ, применяемых на дорогах Украины, поэтому опасного или мешающего влияния на РЦ оказывать не могут. При питании преобразователей постоянным напряжением 3000 В в спектре тока преобладают четные гармоники. Влияния на рельсовые цепи устройств СЦБ эти гармоники по упомянутой выше причине оказывать не могут.

К недостаткам схемы ПН следует отнести сильное искажение входного тока при полной нагрузке, что ведет к обогащению спектра гармоник. В пусковом режиме в спектре входного тока ЦЭС появляются субгармоники, частоты которых непрерывно возрастают от 8 до 50 Гц. Субгармоники вызывают модуляцию входного тока ПН, причем на частоте субгармоник 25 ± 2 Гц ток может вызвать срабатывание путевого приемника типа ДСП.13А на время менее 1,0 с. Вместе с тем, кратковременное срабатывание приемника не может оказать опасного влияния на работу устройств СЦБ, поскольку в схемах существует временная задержка контроля освобождения рельсовой цепи. По нашему мнению, целесообразно исключить низкочастотный спектр гармоник при пуске, начиная «раскачку» схемы преобразования с частот выше 30 Гц.

Система ЦЭС не оказывает влияния на устройства радиосвязи и каналы магистральной связи.

Литература:

- Леонов А. А., Ежова А. А. Централизованное электроотопление пассажирских поездов и устройства СЦБ. Автоматика телемеханики связь, 1986. – №8 – С. 7-9.
- Каганов Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 247 с.